

ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТОВ РАДИАЦИОННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ НА ГРАНИЦЕ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ПРИ АВАРИИ С РАЗРЫВОМ 1-ГО КОНТУРА ДУ500 НА ЭНЕРГОБЛОКЕ 3 КОЛЬСКОЙ АЭС

А.Д.Косов, А.А.Орехов, С.С. Полянцев, Р.А. Абуталипов

Введение

Важнейшим приоритетом эксплуатации АЭС является их безопасность для человека и окружающей среды. Согласно современным требованиям в области радиационной безопасности последствия проектной радиационной аварии по величинам выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду не должны приводить к дозам облучения населения, требующим принятия обязательных мер по его защите в начальном периоде радиационной аварии.

Для обоснования безопасности энергоблока № 3 Кольской АЭС в части радиационного воздействия на населения при проектных авариях необходимо было показать, что за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) дозы облучения критической группы (КГ) населения не превысят указанных в таблице 6.3 НРБ-99/2009 значений для уровня Б:

- предотвращаемая (поглощенная) доза облучения на все тело – 50 мГр;
- предотвращаемая (поглощенная) доза облучения в щитовидной железе (ЩЖ), легких и коже – 500 мГр.

Для достижения указанной выше цели в рамках данной работы были выполнены:

- сбор, анализ и уточнение исходных данных для оценки параметров источника при аварии с разрывом трубопровода Ду 500 на энергоблоке №3 Кольской АЭС;
- оценка параметров источника выброса с использованием программного средства QUASAR [1];
- расчет дозовых нагрузок на население при аварии с применением программного средства SULTAN [2], реализующего Гауссову модель рассеяния примеси в атмосфере.

Анализ развития аварии

В расчетах радиационных последствий аварии были использованы результаты теплофизических расчетов ОКБ «Гидропресс», представленные в разделе 5.1.5 ОУОБ [3] энергоблока №3 Кольской АЭС. Проектной аварией с максимальными радиационными последствиями в окружающей среде для энергоблока № 3 Кольской АЭС является авария с разрывом главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) Ду 500 на входе в реактор и двусторонним истечением теплоносителя на 107 % номинальной

мощности.

Аварийный процесс с разрывом ГЦТ условно можно разделить на две стадии: первую - характеризующуюся резким падением давления в первом контуре, обезвоживанием реактора (стадия истечения), и вторую - протекающую при низком давлении и относительно стабильных параметрах теплоносителя (стадия повторного залива).

Результаты анализа состояния топлива и оболочек ТВЭЛов/ТВЭГов для указанной проектной аварии показали [4] отсутствие пластической деформации оболочек ТВЭЛов и ТВЭГов и непревышение максимальными значениями критериальных характеристик тепловыделяющих элементов максимального проектного предела, установленного в НП-082-07 [5].

Изменение давления в аварийной половине бокса парогенератора (ПГ) в режиме «течь Ду 500» на ранней фазе аварии определено выбросом значительных масс теплоносителя в течь и сбросом пароводяной смеси через барботер-конденсатор в воздушные ловушки системы локализации аварии (СЛА).

Результаты расчетов изменения давления и температуры в помещениях СЛА показали [3]:

- в первые 30 с давление в боксах ПГ и шахта локализации аварии (ШЛА) растет до 0,2 МПа; на ранней фазе аварии (до закрытия гидрозатвора) давление в помещениях СЛА не превышает максимального расчетного давления в 0,25 МПа;

- к 25 с с момента начала аварии давление в контуре падает до давления в ГП;

- перепад давления между герметичными помещениями (ГП) и воздушной ловушкой примерно на 40 сек. становится равным высоте столба воды в барботажных тарелках (не более 0,5 ати), что приводит к закрытию обратных клапанов и срабатыванию гидрозатвора;

- на 124 с происходит включение насоса спринклерной системы (СС) и давление в ГП и ловушках начинает выравниваться;

- после включения СС и закрытия гидрозатвора давление в ГП быстро (на 1000 с) падает до атмосферного, в ГП образуется пониженное по сравнению с атмосферным давление.

После 1000 с в ГП наступает небольшое разрежение, которое держится достаточно продолжительное время (до $5 \cdot 10^4$ с).

Для расчета поведения продуктов деления (ПД) при аварии и утечки их в окружающую среду с учетом результатов испытаний станции в настоящей работе учтено, что ловушки имеют высокую плотность (13,9% от объема в сутки при давлении 0,5 ати). Утечки из ГП приняты в соответствии с данными УОБ [3].

Время существования избыточного давления в ловушках при этом по предварительным оценкам составит не менее $4,5 \cdot 10^5$ с (5 суток). Расчетное время существования избыточного давления в воздушных ловушках

ограничено 5 сутками в предположении постоянной утечки из воздушных ловушек на максимальном уровне 20% объема/сутки (при давлении 1 ати) без учета уменьшения утечки при снижении давления. Принятые допущения соответствуют верхней консервативной оценке выброса из воздушных ловушек, поскольку выброс формируется за минимальное время с минимальным снижением активности ПД за счет радиоактивного распада и процессов осаждения на поверхностях строительных конструкций воздушных ловушек.

На основании рассмотренного выше для оценки радиационных последствий аварии с разрывом ГЦТ у входного патрубка эквивалентным диаметром Ду 500 мм с двусторонним истечением теплоносителя приняты следующие исходные данные:

- 1) в результате аварии происходит разгерметизация 10 % твэлов в активной зоне;
- 2) время начала разгерметизации оболочек твэлов - 15 с;
- 3) начало плавления топлива – отсутствует;
- 4) система герметичных помещений сохраняет свою функцию на всем протяжении условной аварии;
- 5) радионуклиды йода и инертных радиоактивных газов (ИРГ) выходят в теплоноситель из-под оболочек твэлов полностью, радионуклиды цезия – 30 %;
- 6) согласно [1] поступление радионуклидов в систему герметичного ограждения (СГО) при аварии «течь Ду500» составит: ИРГ - $1,3 \cdot 10^3$ ТБк; йодов - $1,5 \cdot 10^3$ ТБк; цезия - 130 ТБк;
- 7) на ранней фазе аварии при росте давления и сбросе паровоздушной среды через барботер в воздушные ловушки в течение первых 40 секунд аварии происходит следующее перераспределение ПД в атмосфере СГО и воздушных ловушек:
 - в атмосфере СГО - ИРГ - 840 ТБк; йоды - 970 ТБк; цезий - 85 ТБк;
 - воздушных ловушках - ИРГ - 440 ТБк; йоды - 70 ТБк;
 - в конденсаторе - йоды - 450 ТБк; цезий - 44 ТБк;
- 8) эффективная высота выброса принимается равной 10 м (отметка утечек из здания реакторного отделения (РО) через неплотности ГП и из помещений воздушных ловушек;
- 9) расчет выброса до 5 суток.

Оценка параметров источника выброса

Результаты расчетов параметров источника выброса при проектной аварии с разрывом первого контура Ду500 на энергоблоке 3 Кольской АЭС с учетом распределения и осаждения активности в помещениях и на оборудовании, выполненные с использованием ПС QUASAR [1] (свидетельство об аттестации № 45090.9M142) представлены в таблицах 1 – 3 и на рисунке 1.

Таблица 1 - Выброс продуктов деления в окружающую среду за счет утечки через неплотности герметичных помещений при аварии «течь Ду 500»

Активность в ТБк

| Радионуклиды | Время, с | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 3600 | 7200 | 10800 | 18000 | 28800 | 86400 | 432000 |
| Молекулярная форма йода | | | | | | | |
| ¹³¹ I | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 |
| ¹³² I | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| ¹³³ I | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| ¹³⁴ I | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 |
| ¹³⁵ I | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 |
| Органическая форма йода | | | | | | | |
| ¹³¹ I | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,081 | 0,300 |
| ¹³² I | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,014 |
| ¹³³ I | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,044 | 0,077 |
| ¹³⁴ I | $3,9 \cdot 10^{-3}$ | $3,9 \cdot 10^{-3}$ | $3,9 \cdot 10^{-3}$ | $3,9 \cdot 10^{-3}$ | $3,9 \cdot 10^{-3}$ | $3,9 \cdot 10^{-3}$ | $3,9 \cdot 10^{-3}$ |
| ¹³⁵ I | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,010 | 0,011 |
| ИРГ | | | | | | | |
| ^{85m} Kr | 0,069 | 0,069 | 0,069 | 0,069 | 0,069 | 0,091 | 0,093 |
| ⁸⁷ Kr | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| ⁸⁸ Kr | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,21 | 0,21 |
| ¹³³ Xe | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 20 | 70 |
| ¹³⁵ Xe | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,42 | 0,50 |
| Аэрозоли | | | | | | | |
| ¹³⁴ Cs | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| ¹³⁷ Cs | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Таблица 2 - Выброс продуктов деления в окружающую среду за счет утечки через неплотности воздушных ловушек при аварии «течь Ду 500»

Активность в ТБк

| Радионуклиды | Время, с | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 3600 | 7200 | 10800 | 18000 | 28800 | 86400 | 432000 |
| Молекулярная форма йода | | | | | | | |
| ¹³¹ I | 0,075 | 0,14 | 0,19 | 0,28 | 0,37 | 0,51 | 0,65 |
| ¹³² I | 0,059 | 0,097 | 0,12 | 0,15 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| ¹³³ I | 0,060 | 0,11 | 0,15 | 0,21 | 0,27 | 0,35 | 0,37 |
| ¹³⁴ I | 0,015 | 0,021 | 0,023 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 |
| ¹³⁵ I | 0,026 | 0,046 | 0,061 | 0,082 | 0,098 | 0,11 | 0,11 |
| Органическая форма йода | | | | | | | |
| ¹³¹ I | $6,1 \cdot 10^{-3}$ | 0,012 | 0,018 | 0,030 | 0,048 | 0,130 | 0,480 |
| ¹³² I | $4,8 \cdot 10^{-3}$ | 0,008 | 0,011 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 0,019 |

| | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 3 | | | | | | |
| ^{133}I | $4,9 \cdot 10^{-3}$ | 0,010 | 0,014 | 0,023 | 0,034 | 0,079 | 0,130 |
| ^{134}I | $1,2 \cdot 10^{-3}$ | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | $2,0 \cdot 10^{-3}$ | $2,2 \cdot 10^{-3}$ | $2,2 \cdot 10^{-3}$ | $2,2 \cdot 10^{-3}$ | $2,2 \cdot 10^{-3}$ |
| ^{135}I | $2,1 \cdot 10^{-3}$ | 0,004 | 0,006 | 0,009 | 0,012 | 0,019 | 0,020 |
| ИРГ | | | | | | | |
| $^{85\text{m}}\text{Kr}$ | 0,027 | 0,051 | 0,071 | 0,100 | 0,130 | 0,180 | 0,190 |
| ^{87}Kr | 0,039 | 0,061 | 0,074 | 0,086 | 0,090 | 0,092 | 0,092 |
| ^{88}Kr | 0,077 | 0,140 | 0,180 | 0,250 | 0,300 | 0,350 | 0,350 |
| ^{133}Xe | 1,5 | 3,1 | 4,6 | 7,5 | 12 | 33 | 110 |
| ^{135}Xe | 0,076 | 0,15 | 0,21 | 0,33 | 0,47 | 0,85 | 0,99 |
| Аэрозоли | | | | | | | |
| ^{134}Cs | $9,5 \cdot 10^{-3}$ | $1,4 \cdot 10^{-3}$ | $1,6 \cdot 10^{-3}$ | $1,7 \cdot 10^{-3}$ | $1,7 \cdot 10^{-3}$ | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | $1,8 \cdot 10^{-3}$ |
| ^{137}Cs | $6,2 \cdot 10^{-4}$ | $9,1 \cdot 10^{-4}$ | $1,0 \cdot 10^{-3}$ | $1,1 \cdot 10^{-3}$ | $1,1 \cdot 10^{-3}$ | $1,1 \cdot 10^{-3}$ | $1,1 \cdot 10^{-3}$ |

Таблица 3 - Интегральный выброс продуктов деления в окружающую среду за счет утечки через неплотности герметичных помещений и воздушных ловушек при аварии «течь Ду 500»

Активность в ТБк

| Радионуклиды | Время, с | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 3600 | 7200 | 10800 | 18000 | 28800 | 86400 | 432000 |
| Молекулярная форма йода | | | | | | | |
| ^{131}I | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,1 |
| ^{132}I | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| ^{133}I | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,5 |
| ^{134}I | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,37 | 0,37 | 0,37 | 0,37 |
| ^{135}I | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Органический йод | | | | | | | |
| ^{131}I | 0,021 | 0,027 | 0,033 | 0,045 | 0,063 | 0,211 | 0,780 |
| ^{132}I | 0,018 | 0,021 | 0,024 | 0,028 | 0,030 | 0,032 | 0,033 |
| ^{133}I | 0,017 | 0,022 | 0,026 | 0,035 | 0,046 | 0,123 | 0,207 |
| ^{134}I | $5,1 \cdot 10^{-3}$ | $5,7 \cdot 10^{-3}$ | $5,9 \cdot 10^{-3}$ | $6,1 \cdot 10^{-3}$ | $6,1 \cdot 10^{-3}$ | $6,1 \cdot 10^{-3}$ | $6,1 \cdot 10^{-3}$ |
| ^{135}I | 0,008 | 0,009 | 0,011 | 0,014 | 0,017 | 0,029 | 0,031 |
| ИРГ | | | | | | | |
| $^{85\text{m}}\text{Kr}$ | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,17 | 0,20 | 0,27 | 0,28 |
| ^{87}Kr | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |

| | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| ^{88}Kr | 0,28 | 0,34 | 0,38 | 0,45 | 0,50 | 0,56 | 0,56 |
| ^{133}Xe | 5,20 | 6,80 | 8,30 | 11 | 16 | 53 | 180 |
| ^{135}Xe | 0,26 | 0,33 | 0,39 | 0,51 | 0,65 | 1,27 | 1,49 |
| Аэрозоли | | | | | | | |
| ^{134}Cs | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| ^{137}Cs | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

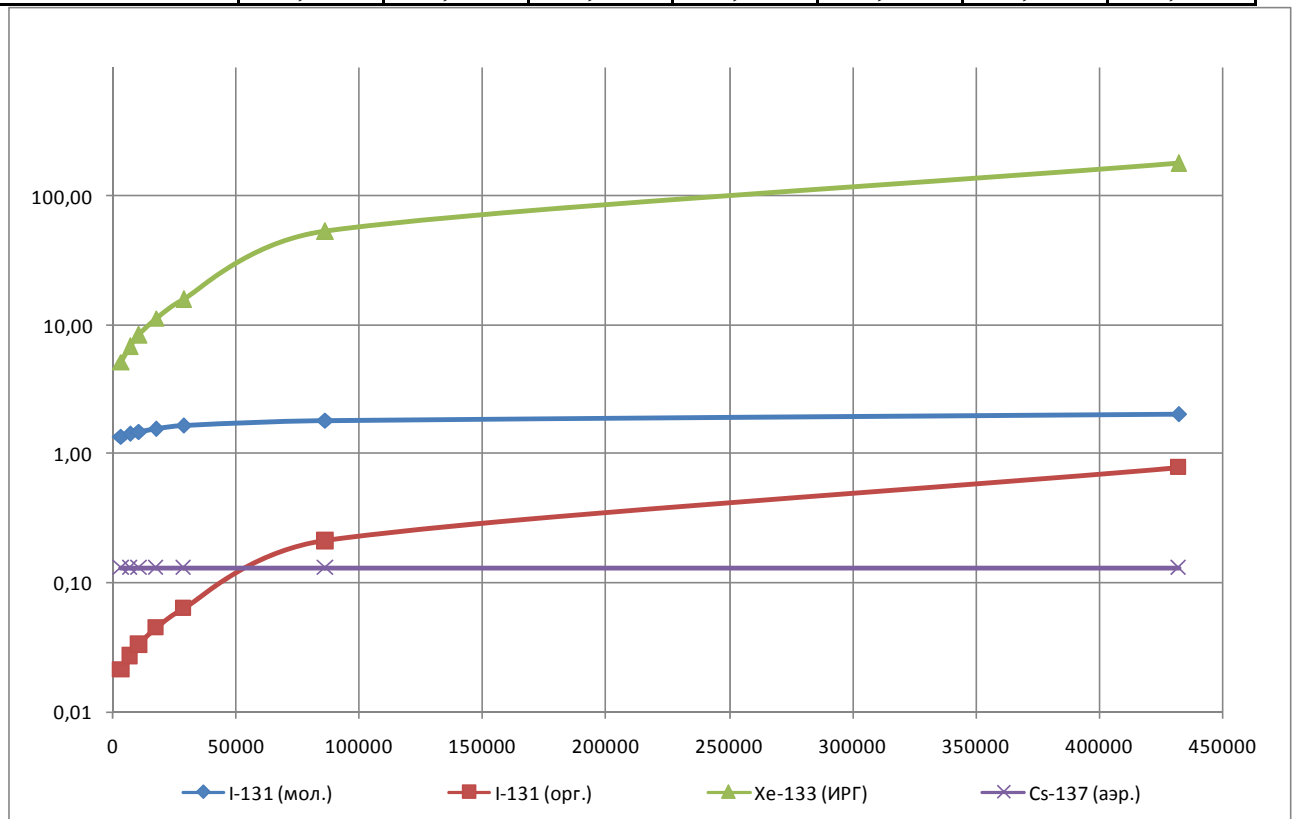


Рисунок 1 – Интегральный выброс продуктов деления в результате при аварии «течь Ду 500» на энергоблоке № 3 Кольской АЭС

Результаты расчета доз облучения населения в случае аварии с разрывом трубопровода Ду 500 на энергоблоке №3 Кольской АЭС

Расчет радиационных последствий аварии проводится для наихудших погодных условий для критической точки (с наибольшими радиационными последствиями) за пределами СЗЗ (рисунок 2).

Проект СЗЗ Кольской АЭС утвержден постановлениями главы муниципального образования г. Полярные Зори № 979 от 26.11.2009 г. «Об утверждении проекта санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения Кольской АЭС» и согласован с органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора (санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.ГУ.01.000.Т.000006.02.05 от 10.02.2005 г.).

Согласно проекту в качестве СЗЗ Кольской АЭС принята территория центральной части полуострова, разделяющего Бабинскую и Иокостровскую Имандры до автомобильной дороги М18 Санкт-Петербург-

Мурманск (рисунок 2).

Минимальное расстояние от энергоблока №3 Кольской АЭС до границы СЗЗ составляет:

- 280 м до озера Имандра;
- 1600 м до сухопутной границы СЗЗ.



Рисунок 2 - Санитарно-защитная зона Кольской АЭС

Для оценки радиационных последствий проектной аварии (ПА) с разрывом ГЦТ на энергоблоке №3 Кольской АЭС были проведены альтернативные расчеты с использованием ПС SULTAN (свидетельство об аттестации № 45090.8.Л238) [2].

С целью оценки радиационных последствий ПА с разрывом ГЦТ на энергоблоке №3 Кольской АЭС (непревышения доз облучения населения уровней Б критериев для принятия неотложных решений в соответствии с НРБ-99/2009) выполнены расчеты поглощенных доз облучения на:

- 1) щитовидную железу ребенка (1-2 года) и взрослого человека (более 17 лет) за счет ингаляционного поступления радиоизотопов йода;
- 2) все тело взрослого человека за счет внешнего облучения от радиоактивного облака и прямого излучения от подстилающей поверхности за 10 суток;
- 3) легкие взрослого человека за счет ингаляционного поступления, внешнего облучения от радиоактивного облака и прямого излучения от подстилающей поверхности за 10 суток;

4) кожу взрослого человека за счет ингаляционного поступления, внешнего облучения от радиоактивного облака и прямого излучения от подстилающей поверхности за 10 суток;

Результаты расчетов дозовых нагрузок на население для суши и водной поверхности представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Результаты расчета доз облучения населения за 10 суток для суши

| Расстояние от АЭС, км | Доза на ЩЖ | | Доза на все тело | Доза на легкие | Доза на кожу |
|-----------------------|------------|----------|------------------|----------------|--------------|
| | Дети | Взрослые | | | |
| 0,28 | 260 | 120 | 2,4 | 2,9 | 2,9 |
| 1 | 210 | 96 | 2,0 | 2,4 | 2,4 |
| 1,6 | 130 | 59 | 1,2 | 1,4 | 1,4 |
| 2 | 62 | 29 | 0,58 | 0,70 | 0,69 |
| 3 | 29 | 14 | 0,25 | 0,30 | 0,30 |
| 4 | 17 | 7,9 | 0,14 | 0,17 | 0,17 |
| 5 | 11 | 5,2 | 0,087 | 0,10 | 0,10 |

Таблица 5 – Результаты расчета доз облучения населения за 10 суток для водной поверхности

| Расстояние от АЭС, км | Доза на ЩЖ | | Доза на все тело | Доза на легкие | Доза на кожу |
|-----------------------|------------|----------|------------------|----------------|--------------|
| | Дети | Взрослые | | | |
| 0,28 | 260 | 120 | 2,4 | 2,9 | 2,9 |
| 1 | 230 | 110 | 0,18 | 0,34 | 0,26 |
| 2 | 74 | 35 | 0,069 | 0,13 | 0,10 |
| 3 | 34 | 16 | 0,036 | 0,068 | 0,052 |
| 4 | 19 | 9,1 | 0,023 | 0,043 | 0,033 |
| 5 | 13 | 5,9 | 0,016 | 0,030 | 0,023 |

Результаты расчетов ПА с разрывом ГЦТ эквивалентным диаметром Ду 500 мм с двусторонним истечением теплоносителя показывают, что расстояния, на которых могут быть применены меры защиты не превышают 2,2 км для суши и 2,5 км для водной поверхности. На этом расстоянии превышает уровень А на проведение укрытия по критерию «доза на ЩЖ» для детей в соответствии с НРБ-99/2009 (таблица 6.3). На расстояниях до 1,8 км для суши и 1,9 км для воды не превышает уровень А на проведение

йодной профилактики для детей от 1 года до 2 лет. Также следует отметить, что до этих расстояний (1,8 и 1,9 км) превышает уровень А на проведение укрытия по критерию «доза на ЩЖ» для взрослых. Другие критерии из НРБ-99/2009 (таблица 6.3) не достигаются. Критический путь воздействия на население при возникновении данной аварии будет облучение ЩЖ у детей в возрасте от одного года до двух лет.

Согласно требованиям СП АС-03 (п. 5.24) «На АС, проекты которых утверждены до введения в действие НРБ-99, последствия проектной радиационной аварии по величинам выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду не должны приводить к дозам облучения населения, требующим принятия **обязательных** мер по его защите в начальном периоде радиационной аварии, т.е. дозы облучения лиц из населения не должны превышать верхний уровень значений (уровень «Б»), регламентированный НРБ-99 (таблица 6.3)». Результаты расчетов показали, что при данной аварии **обязательных** мер по защите населения не требуется как для водной, так и для сухопутной границ СЗЗ. Таким образом, проект энергоблока №3 Кольской АЭС удовлетворяет требованиям нормативных документов в части обеспечения безопасности населения при проектных авариях.

Библиография

1 МВР 6.2.14-12 Методика расчета утечки продуктов деления в атмосферу в случае аварии на АЭС с ВВЭР с реализацией в программном средстве QUASAR

2 Программное средство SULTAN по определению экстренных мер защиты в случае радиационной аварии на атомной станции. Руководство оператора. № 643.5908509.00052-01.34-52. ВНИИАЭС. 2008

3 Отчет по углубленной оценке безопасности. Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция» Блок 3. ОАО «СПбАЭП» 2010

4 Факс ОАО «Росэнергоатом» № ЦА/04/1620 от 30.12.09. Направление материала для корректировки ТОб АС. «Обоснование критериев разгерметизации и оценка разгерметизации твэлов и твэгов в условиях проектных аварий при эксплуатации РУ энергоблока №3 Кольской АЭС на повышенном уровне мощности (107% Нном.). ОКБ «Гидропресс», 2009

5 НП-082-07 Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций